

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANE MORAES PACHECO DE LIMA

LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp

CURITIBA

2019

ADRIANE MORAES PACHECO DE LIMA

LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

CURITIBA

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha luz e sempre cuidar de cada detalhe em minha vida.

Aos meus pais, Roseli e José Carlos, por sempre acreditarem na minha capacidade de crescimento e principalmente pelo amor e esforços dedicados quanto a minha formação.

Ao meu noivo Celso Neto, pelo amor, paciência e colaboração no desenvolvimento deste trabalho, sendo minha maior motivação.

Aos meus irmãos, José Carlos Junior e Juliane, pela compreensão e prestígio a cada pequena conquista minha.

Ao meu amigo e ex-colega de graduação, Neuro Junior, por toda a experiência e conhecimentos compartilhados; por me apresentar o curso e o programa

A minha amiga Karine, por prontamente me auxiliar nos ajustes finais do trabalho.

Ao meu orientador, professor Renato Marques, pelo tempo dedicado e por todos os ensinamentos.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, pela concessão da bolsa e por dar todo suporte necessário durante o curso.

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente, tornando possível a realização do curso e a conclusão deste trabalho.

Muito obrigada!

“Para obter sucesso, comece onde você está,  
use o que você tem e faça o que você pode. ”

(Arthur Ashe)

## RESUMO

O constante crescimento populacional resulta na expansão dos serviços de tratamentos de efluentes no país, gerando grandes quantidades de resíduo sólido, denominado lodo de esgoto. Os custos para o processamento e destinação final do lodo tem sido motivo de preocupação mundial, implicando na busca por aplicações alternativas ambientalmente corretas. Muitas pesquisas com a utilização na agricultura vêm sendo realizadas, entretanto, esse uso apresenta restrições com relação aos metais pesados e patógenos presentes no lodo. Nesse sentido, a aplicação em plantios de eucalipto tem sido apontada por vários autores como excelente opção, em razão das extensas áreas de florestas plantadas. Mas apesar de existirem pesquisas com enfoque na aplicação de lodo nas plantações florestais, ainda existem lacunas no que concerne os efeitos do resíduo na planta e no solo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi, por meio de uma revisão de literatura, analisar os trabalhos de pesquisa com aplicação de lodo de esgoto em plantios de *Eucalyptus* spp, identificando as alterações promovidas nos atributos edáficos e também as respostas das plantas à aplicação do resíduo. O lodo, sendo composto por elevados teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes deve passar por processos de tratamento, que visam reduzir a umidade, os odores e poluentes do material, para que então possa ser utilizado como fertilizante. Os tratamentos mais utilizados para o uso agrícola e florestal são a estabilização alcalina (através da adição de cal) e a estabilização biológica (compostagem). A aplicação em solos florestais nos trabalhos analisados foi capaz de melhorar as características do solo e promover benefícios à cultura do eucalipto, como: aumento do volume de madeira; elevação dos teores de nutrientes nas plantas e nas taxas de retorno ao solo; aceleração no processo de mineralização; elevação da fotossíntese; maior acúmulo de C e N na árvore; aumento da biomassa das raízes finas e diminuição da densidade básica da madeira. De maneira geral, os trabalhos encontrados foram desenvolvidos com a espécie *Eucalyptus grandis* que, apesar de ser amplamente cultivada no país, não representa, na atualidade, todas as espécies deste gênero introduzidas em solo brasileiro. As pesquisas realizadas também não englobam todas as situações edafoclimáticas das áreas plantadas no Brasil. Assim, seriam bem-vindas novas pesquisas nas diversas regiões de produção de eucalipto; e que representem a diversidade de situações de solo e clima onde esta cultura é inserida.

Palavras-chave: Biossólido. Atributos edáficos. Metais pesados. Nutrição de plantas.

## ABSTRACT

The constant population growth results in the expansion of services treatment effluent in the country, generating large amounts of solid residue, called sewage sludge. The costs to the processing and final destination of sludge has been reason of global concern, implying in search for alternative applications environmentally correct. A lot of research with the utilization in agriculture has been carried out, however, this utilization presents restrictions with relation to the heavy and pathogens metals present in sludge. Therefore, the application in eucalyptus plantations has been pointed out by several authors like excellent option, due to extensive areas of forests planted. But although there are research with focus in the application of sludge in forest plantations, there are still gaps in case the effects of residue in plant and soil. Thus, the objective of this present study was, through a literature review, to analyze the research works with application of sewage sludge in plantations of *Eucalyptus* spp, identifying the changes promoted in soil attributes and also the answers of plants to the application of residue. The sludge being composed by high levels of organic matter, macro and micronutrients must pass by treatment processes, that aimed at reducing moisture, odors and pollutants material, so that can be used like fertilizer. The treatments most utilized to use agricultural and forestry are the stabilization alkaline (through the addition of lime) and the stabilization biological (composting). The application in forest soils in the work analyzed was able to improve the characteristics of the soil and promoting benefits to the culture of eucalyptus, like: increasing in the volume of wood; elevation of content of nutrients in plants and in the rates of return to the soil; acceleration in the process of mineralization; elevation of photosynthesis; largest accumulation of C and N in tree; increasing in biomass of thin roots and decreasing basic density of wood. In general, the work found were developed with the specie *Eucalyptus grandis* that, although being widely cultivated in the country, to doesn't represent, nowadays, all species of this genre introduced in Brazilian soil. The research conducted also doesn't include all the soil and climate situations of areas planted in Brazil. Thus, would welcome new research in the various regions of eucalyptus production; and that represent the diversity of soil and climate situations where this culture is inserted.

Keywords: Biosolids. Edaphic attributes. Heavy metals. Plant nutrition.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1 Objetivo geral .....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
2.1 HISTÓRICO DO USO DE LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA E FLORESTAL.....	11
2.2 LEGISLAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SOLOS .....	14
2.3 COMPOSIÇÃO DO LODO .....	17
2.3.1 Nutrientes presentes no lodo.....	17
2.4 RISCOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM A APLICAÇÃO DE LODO EM PLANTIOS DE EUCALIPTO .....	19
2.4.1 Metais pesados .....	19
2.4.2 Agentes patogênicos .....	20
2.4.3 Impactos no meio ambiente .....	21
2.5 TRATAMENTO DO LODO PARA USO COMO FERTILIZANTE.....	22
2.6 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DO GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i> .....	25
2.7 ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE LODO.....	28
2.7.1 Atributos físicos .....	28
2.7.2 Atributos químicos .....	29
2.7.3 Atributos biológicos .....	30
2.8 CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO EUCALIPTO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE LODO .....	32
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional resulta na expansão dos serviços de coleta e tratamento de esgotos, consequentemente gerando-se resíduos em maiores quantidades. De acordo com estimativas, em 2010, apenas 30% da população era atendida por estações de tratamento de esgoto (ETEs) e, ainda assim, a produção de lodo era de mais de 150 mil toneladas por ano (SAMPAIO, 2014).

O elevado custo operacional para o processamento e destinação final desses resíduos, bem como a insuficiência de áreas para armazenagem, tem resultado em uma maior preocupação com aplicações alternativas para o lodo, que não ofereçam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente (GODOY, 2013).

O uso nos solos agrícolas tem sido a alternativa mais indicada e ambientalmente correta, pois o lodo gerado contém grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes, podendo ser usado para essa finalidade após passar pelos processos de estabilização, higienização e secagem, quando passa a ser chamado de biossólido (MELO; MARQUES, 2000).

Muitas pesquisas voltadas para a utilização do biossólido na agricultura vem sendo realizadas, no entanto, esse uso apresenta certas restrições com relação aos metais pesados e patógenos presentes no lodo, os quais podem comprometer a produção de alimentos e a saúde humana; portanto exigindo maiores cuidados na aplicação.

Nesse sentido, a adição do lodo em solos de uso florestal, principalmente em plantios de eucalipto, tem sido apontada por vários autores como excelente alternativa para a destinação final do resíduo, em razão das extensas áreas de florestas plantadas que, além de facilitar o descarte das grandes quantidades de lodo gerado, é capaz de melhorar as propriedades do solo (FARIA; RODRIGUEZ, 2008).

As espécies florestais de rápido crescimento cultivadas atualmente no Brasil são, em geral, adaptadas às condições de baixa fertilidade dos solos, tendo pouca sensibilidade à acidez e tolerância aos altos níveis de Al e Mn. Entretanto, a maioria dos solos utilizados na área florestal são naturalmente pobres ou foram empobrecidos pela intensificação das rotações a que são submetidos, necessitando de uma adubação eficiente para alcançar a produtividade desejada (GONÇALVES, 1995).

As espécies do gênero *Eucalyptus*, por exemplo, têm apresentado respostas significativas à adubação química, pois as condições dos solos normalmente usados



não são capazes de fornecer, sozinhos, os nutrientes essenciais para o crescimento da planta, podendo influenciar até mesmo na qualidade da madeira (BELLOTE; NEVES, 2001). Utilizar o lodo de esgoto nessas áreas, além de reduzir o risco da entrada de substâncias tóxicas na cadeia alimentar humana, pode aumentar a produtividade do cultivo, por ser um material rico em matéria orgânica e nutrientes, sendo considerado, portanto, uma opção de fertilizante a ser explorada.

Visto que o setor florestal tem retorno do capital investido a longo prazo, são necessárias informações técnicas fundamentadas para utilização do lodo em larga escala. Daí a importância de pesquisas que comprovem os efeitos positivos e abordem como foi possível encontrar esses resultados, assim como analisar as limitações do ambiente, do solo e da planta para receber o bio-sólido, para que dessa forma, seja possível contornar tais adversidades em trabalhos posteriores e agregar benefícios a tal processo de fertilização.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Nota-se uma carência de informações sobre a aplicação do lodo em plantios de eucalipto, abordando os efeitos do resíduo na planta e no solo, bem como de trabalhos de revisão de literatura que reúnam os dados já existentes.

Pesquisas envolvendo espécies desse gênero são feitas a longo prazo, devido ao ciclo de corte das árvores, sendo necessários em torno de dez anos para resultados conclusivos ou no mínimo satisfatórios. Em função disso, é importante a realização de um levantamento dos resultados obtidos em estudos anteriores, a fim de facilitar e otimizar futuras pesquisas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho foi, por meio de uma revisão de literatura, analisar os trabalhos de pesquisa com informações sobre o lodo de esgoto e seu potencial de aplicação como condicionador do solo ou fertilizante em plantios de *Eucalyptus* spp, identificando as alterações promovidas nos atributos edáficos; e as respostas das plantas à aplicação do resíduo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a legislação vigente, os diferentes tipos de lodos de esgoto e seus processos de produção;
- Identificar o potencial de fornecimento de nutrientes do lodo de esgoto;
- Identificar as limitações do uso do lodo de esgoto e os impactos no meio ambiente;
- Identificar as mudanças químicas, físicas e biológicas promovidas nos solos pela aplicação de lodo;
- Avaliar a influência do lodo no crescimento e na nutrição do eucalipto;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 HISTÓRICO DO USO DE LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA E FLORESTAL

Atualmente, as principais formas de disposição final do lodo são: o depósito em aterros sanitários, a incineração e o uso agrícola.

No Brasil, a maior parte do lodo gerado nas ETEs ainda é depositada em aterros, causando problemas como emissão de odores, atração e proliferação de insetos vetores de doenças, além da possível contaminação dos lençóis freáticos e a eutrofização de rios e lagos, caso atinja essas zonas. Portanto, exige um avançado controle ambiental.

A incineração tem o objetivo de tornar o resíduo menos tóxico, ou eliminá-lo; porém apresenta grandes desvantagens, como a poluição atmosférica e o alto custo para a decomposição térmica, sendo realizada em pouquíssimos casos e locais (FERREIRA; ANDREOLI, 1999).

A utilização em solos agrícolas é conhecida mundialmente e aplicada há vários séculos, sendo que as primeiras informações registradas datam do ano de 1559, na Alemanha, onde era realizada a irrigação de culturas agrícolas com esgoto *in natura*. A partir de 1800, com o surto de cólera em toda a Europa, houve uma expansão de projetos usando o lodo de esgoto para fins agrícolas (PINHEIRO, 2007).

Os países desenvolvidos apresentam uma produção de lodo em larga escala e, se tratando de uma prática ambientalmente adequada, os Estados Unidos, Canadá e vários países da União Europeia, já fazem uso do bio sólido na agricultura há cerca de vinte anos. Possuem normas rigorosas e preventivas contra possíveis problemas, que podem ser causados por teores elevados de metais pesados e patógenos na composição deste material (SOARES et al., 2017).

Em países como França, Itália, Grã-Bretanha, Bélgica, Estados Unidos, Portugal, Alemanha e Dinamarca, 40% do lodo produzido, em média, é transformado em insumo agrícola, ficando atrás apenas do descarte em aterros sanitários, que, dentre as alternativas de destino final, pode representar mais de 60%, como por exemplo na Alemanha, onde o uso dos aterros para essa finalidade correspondem a 65%. Nestes países, é feita a venda do lodo aos agricultores, agregando valor ao produto e, assim, custeando parte de todo o processo de geração e tratamento do

resíduo. Do mesmo modo, o agricultor também se beneficia, ao pagar preços significativamente menores do que na compra de fertilizantes minerais convencionais (BONNIN, 1998; PAREDES FILHO, 2011).

No Brasil, os primeiros trabalhos realizados com aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas, foram publicados a partir da década de 1970.

A princípio, Santos (1979), após visitar instalações de compostagem no Japão e tomando como base bibliográfica diversos estudos estrangeiros, elaborou um trabalho abordando o potencial de reciclagem agrícola do resíduo, considerando informações como: as técnicas de aplicação, os tipos de solos e culturas aptas a recebê-lo, os efeitos no solo e os riscos ambientais, sempre descrevendo métodos aplicáveis de acordo com as condições encontradas no Brasil.

Essa síntese de informações e experiências estrangeiras, bem como os esforços do país para minimizar os impactos negativos da geração de resíduos, impulsionou novas pesquisas e abordagens sobre a reciclagem agrícola do lodo nos anos seguintes, entre eles, os trabalhos de Carvalho e Barral (1981), Bettiol e Carvalho (1982), Bettiol et al. (1982), Bettiol et al. (1983), Carvalho (1983) e Boaretto (1986), onde exploraram as diversas particularidades do bio sólido (PEDROZA, 2002).

No que se refere ao uso do bio sólido na área florestal, é praticado no exterior desde a década de setenta, aprofundando constantemente as técnicas de aplicação, manejo e controle dos impactos ambientais. Hoje em dia, vários países realizam essa aplicação com certa frequência, como por exemplo no município de Bremerton, em Washington (EUA), que no ano de 1997 já destinava 100% do lodo de esgoto gerado aos plantios florestais do seu próprio território (LEONARD; McKINNEY; 1997; GUEDES, 2005). Um estudo conduzido num período de vinte anos, em Washington, nos EUA, confirmou a capacidade do lodo em aumentar a produtividade da floresta, apresentando respostas no crescimento da planta e sendo consideradas mais duradouras, com relação a adubação com fertilizantes minerais (HENRY et al., 1993; ANDREOLI, 2006); além de servir como filtro biológico ao acumular elementos tóxicos em sua biomassa.

Quanto às espécies florestais mais plantadas no Brasil (eucalipto e pinus), são encontradas apenas poucas referências na literatura internacional, destacando-se trabalhos na Nova Zelândia, Austrália e Egito, sendo estudada principalmente a adubação com o lodo de esgoto em florestas de pinus.

No Brasil a pesquisa na área florestal é algo mais recente, sendo difundida a partir de 1998 quando pesquisadores da ESALQ/USP desenvolveram trabalhos experimentais em campo, a fim de verificar a viabilidade de uso do biossólido em plantios de eucalipto. Atualmente, este grupo de pesquisadores ainda tem sido responsável pela maior parte das publicações envolvendo o tema (POGGIANI; BENEDETTI, 1999).

A partir do constante crescimento da área reflorestada no país, principalmente com pinus e eucalipto, é possível notar o elevado potencial das florestas plantadas em consumir o lodo de esgoto produzido nas estações de tratamento próximas, sendo um excelente fertilizante e condicionador de solo (FARIA; RODRIGUEZ, 2008).

Dentre os trabalhos publicados até o momento, com a aplicação do biossólido na área florestal, destaca-se o uso na produção de mudas, onde o resíduo é um dos principais componentes utilizados, sendo capaz de melhorar as características químicas e físicas dos substratos, através da grande quantidade de matéria orgânica fornecida (SIQUEIRA et al., 2018). O processo visa oferecer alternativas sustentáveis ao produtor, otimizando o tempo e reduzindo custos.

Algumas formulações frequentemente estudadas são compostas, além do lodo, por substrato comercial, solo, esterco bovino, casca de arroz carbonizada, casca de pinus, vermiculita; sendo possíveis diversas combinações e variações na proporção de cada componente a ser adicionado. A recomendação é que o lodo seja sempre combinado com outros materiais, pois além do risco de contaminação por meio de substâncias indesejadas, a sua falta de porosidade pode comprometer o desenvolvimento da planta (CALDEIRA, et al., 2013).

Há diversos estudos demonstrando a eficiência do uso do lodo de esgoto na composição de substratos, tanto para mudas de espécies de interesse comercial, como o eucalipto (CALDEIRA et al., 2013) e a teca (GOMES et al., 2013), quanto para mudas de espécies nativas, como a aroeira (NÓBREGA et al. 2007), o angico (SCHEER et al., 2010), o fedegoso gigante (FARIA et al., 2013), entre outros.

Certamente, o lodo de esgoto possui um imenso potencial no que se refere ao uso agrícola e florestal, porém devido à carência de informações e pesquisas sobre o assunto, exige-se muita cautela na sua aplicação, evitando comprometer o meio ambiente ou a saúde pública, assim como evitar prejuízos ao produtor.

## 2.2 LEGISLAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SOLOS

A preocupação mundial com a reciclagem de resíduos, e a necessidade de que tal atividade fosse regulamentada, com exigências e restrições, a fim de evitar danos ao meio ambiente, levou diversos países a criarem suas próprias normas técnicas, com padrões e diretrizes para a disposição final do lodo de esgoto. Estas normas foram elaboradas com base nas características do próprio material e das culturas a recebê-lo, nas condições de clima, solo, restrições quanto a locais e concentrações de contaminantes, entre vários outros critérios (ZEITOUNI, 2005).

No Brasil, os estudos já realizados sobre o uso do lodo de esgoto como fertilizantes agrícola e florestal, ainda seriam insuficientes para servir de base na criação de uma norma nacional. No entanto, a falta de uma regulamentação poderia gerar problemas ao meio ambiente e à população, visto que a prática já acontecia em alguns estados do país. Desta forma, a normatização da aplicação do resíduo em solos foi baseada, inicialmente, em resultados preliminares e normas de outros países, principalmente nos padrões dos EUA onde os limites de contaminantes assim como as demais exigências são normatizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA); e isto evidencia a necessidade de revisões e atualizações por parte dos órgãos ambientais brasileiros, conforme avanços nas pesquisas sobre o tema (PIRES, 2006).

A princípio, a Lei nº 6.894/1980, (alterada pela Lei nº 12.890/2013 foi elaborada para o controle do comércio de insumos agrícolas no Brasil. O decreto nº 4.954/2004, por sua vez, especifica a definição de fertilizante orgânico composto, na qual se enquadra o lodo de esgoto; e também delimita as competências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, quanto à fiscalização da produção e comércio destes fertilizantes, visto que o uso do biossólido compreende a adição de matéria orgânica e nutrientes ao solo.

Desta forma, em resposta ao Decreto nº 4954, o MAPA incluiu o biossólido em diversas instruções normativas, abrangendo uma série de especificações quanto ao teor de nutrientes; registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes; classificação de acordo com a matéria-prima usada na produção do lodo (IN nº 25 de 2009); registro de estabelecimento e autorização de comercialização (IN nº 53 de 2013); concentrações máximas permitidas para contaminantes (IN nº 27 de 2006); métodos

analíticos para determinação dos contaminantes (IN nº 24 de 2007); entre outros critérios.

No que tange a legislação federal, a partir de uma solicitação da EMBRAPA, em 2003, formou-se um grupo pela Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), objetivando elaborar normas para a regulamentação do uso do bio sólido. Este grupo foi formado por representantes de companhias de saneamento, instituições de pesquisa, órgãos ambientais, entre outros, finalizando a proposta de normatização em maio de 2005. Após passar por revisão, adequação e aprovação, foi publicada a Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006, a qual regulamenta o uso agrícola de lodo de esgoto no Brasil; diferindo das Instruções normativas do MAPA no aspecto de rastreabilidade, pois além do controle das propriedades do lodo a ser aplicado, exige o monitoramento da geração do resíduo, do processo de tratamento e dos locais onde será depositado (BITTENCOURT et al., 2017).

A Resolução CONAMA nº 375 proíbe o uso agrícola de lodos de ETEs de efluentes hospitalares, de portos e aeroportos, resíduos de gradeamento e de desarenador, lodos não estabilizados ou classificados como perigosos, conforme os limites estabelecidos por tal norma. Estabelece os aspectos para classificação dos diferentes lodos, sendo eles: quanto ao potencial agrônômico (nutrientes), à presença de substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas (metais pesados), bactérias e patógenos, e quanto à estabilidade, considerando a relação entre os sólidos voláteis e sólidos totais. São divididos em Classe A e B, sendo menos agressivos ao meio ambiente os que pertencem a primeira classe citada.

Determina a frequência de monitoramento, conforme a quantidade de lodo destinado à agricultura, sendo que, até 60 toneladas, exige-se monitoramento anual; de 60 a 240 toneladas, deve ser inspecionado semestralmente; e assim sucessivamente, diminuindo os intervalos de tempo à medida que se aumenta a quantidade de lodo, sendo necessário monitorar mensalmente quando ultrapassar 15 mil toneladas. As análises devem ser feitas em laboratórios com o devido controle de qualidade e atender as exigências previstas na referida resolução.

A norma também especifica as concentrações toleráveis de substâncias inorgânicas (As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn), além dos limites de concentração de patógenos (ovos de helmintos, coliformes, vírus e *Salmonellas*).



Indica como é calculada a taxa máxima de aplicação anual; as formas e épocas de aplicação mais adequadas e os critérios para o transporte e estocagem do lodo.

De acordo com a resolução, o uso do lodo se restringe a culturas que a parte comestível não entre em contato com o solo, como pastagens, culturas inundadas, cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes. Bem como também é proibido a aplicação do resíduo em solos de unidades de conservação, Área de Preservação Permanente (APP), áreas de captação de água para abastecimento público, entre outras situações que ofereçam risco de contaminação aos cursos d'água.

Estas e outras restrições e exigências contidas na legislação vigente no país, buscam evitar riscos à saúde humana e animal; garantir a qualidade do solo e das colheitas, sem comprometer o meio ambiente e seus recursos. Simultaneamente, alguns estados como São Paulo e Paraná possuem suas próprias normas para a disposição do lodo em solos, as quais são aplicadas até os dias atuais, desde que nunca sejam mais permissivas que a norma federal.

Em São Paulo, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), a qual é vinculada à Secretaria do Meio Ambiente, através da Norma Técnica P4.230, publicada em 1999, regulamenta a elaboração de projetos e implantação de sistemas para aplicação de lodo de esgoto na agricultura, visando não prejudicar o meio ambiente. Ou seja, proporcionar o benefício à cultura pretendida, obedecendo os critérios ambientais estabelecidos em tal norma (CETESB, 1999).

No Paraná, a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) publicou, em 1997, manuais com orientações aos usuários do biossólido, quanto à produção e higienização adequada para o uso do lodo, as suas vantagens e os fatores limitantes do processo (SANEPAR, 1997). Entretanto, os procedimentos e padrões exigidos para a aplicação do lodo em solos agrícolas, no estado do Paraná, são estabelecidos pela Resolução da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos nº 021/09 (Resolução Sema), a qual define unidade de gerenciamento de lodo (UGL) como uma unidade vinculada ou não a uma ETE, encarregada de gerenciar o lodo gerado; e define os padrões considerados mais restritivos que a norma federal, como a desaprovação do uso de lodos equivalentes a Classe B, ou ainda a exigência de concentrações ainda menores de elementos tóxicos, em comparação aos critérios definidos pelo CONAMA (PARANÁ, 2009). O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) é responsável por fiscalizar e autorizar tal processo, liberando os lotes de lodo de esgoto após verificar as análises laboratoriais.

## 2.3 COMPOSIÇÃO DO LODO

O lodo de esgoto é o resíduo obtido do tratamento das águas residuais (domésticas, comerciais e industriais), a fim de torná-las menos poluidoras. Mais especificamente, o lodo é originário das etapas de tratamento primário (por meio da sedimentação dos sólidos), do tratamento secundário (após a ação biológica) e do terciário (através da floculação), formando uma lama líquida, com um teor de sólidos de aproximadamente 2 a 5% (CHAGAS, 2000).

Logo, existem basicamente três tipos de lodo: o lodo bruto (gerado no tratamento primário), sendo pegajoso, de cor acinzentada e odor desagradável; o lodo ativado (tratamento secundário) com aspecto floculento, cor marrom e leve odor desagradável; e o lodo digerido (tratamento terciário), sendo de cor preta quando digerido anaerobicamente, e de cor marrom quando digerido aerobicamente; e ambos não apresentam odor considerado desagradável (SANTOS, 2009).

A composição destes tipos de lodo é muito variável, pois depende do local de origem (industrial ou residencial), do tipo de tratamento, entre outros fatores que são capazes de influenciar nos componentes químicos, físicos e microbiológicos do resíduo.

A matéria orgânica corresponde a maior parte da estrutura do lodo; e apresenta uma composição muito variável, sendo uma complexa mistura de gorduras, aminoácidos, proteínas, açúcares, carboidratos, celulose, lignina, ácidos graxos e material húmico, além de diversos microrganismos como fungos, bactérias e protozoários (SAITO, 2007). O lodo é composto ainda por metais pesados e elevados teores de macro e micronutrientes (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

### 2.3.1 Nutrientes presentes no lodo

O lodo de esgoto favorece o desenvolvimento de plantas de várias formas, ocorrendo, em grande parte, graças a presença de macro e micronutrientes em sua composição. Embora a concentração dos nutrientes seja muito variável, alguns elementos podem ser destacados, como os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg.

O nitrogênio existente no lodo encontra-se na forma mineral: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), ambos disponíveis para a planta; e na forma orgânica, que necessita

passar por mineralização microbiológica para ser disponibilizado às plantas. Podem ser encontrados no lodo teores de N total a partir de 20 g.kg<sup>-1</sup>, podendo atingir até 70g.kg<sup>-1</sup> (FERNANDES et al., 2000). A digestão anaeróbia gera um lodo com altos níveis de amônio e baixos níveis de nitrato. Já quando digerido aerobicamente, a maior concentração é de nitrato (CORREIA, 2009).

De acordo com Costa et al. (2014), a concentração de fósforo no lodo é de aproximadamente 8,5 g.kg<sup>-1</sup>, enquanto que Bettiol (2004) e Fernandes et al. (2005) encontraram valores entre 12,9 e 31 g.kg<sup>-1</sup>, ao analisar três lotes de lodo de duas ETEs. Esse nutriente é originário, principalmente, dos dejetos, microrganismos do tratamento de esgoto, detergentes e outros produtos de limpeza que contém fosfatos em sua composição. Sua remoção durante o processo de tratamento é de 10 a 20% por reator anaeróbio, enquanto que em sistemas australianos chega até 60%, ainda assim, mantendo níveis altos de fósforo no lodo (FREDDO, 2014).

Segundo Coelato (2007), o potássio, assim como o magnésio, normalmente, está presente em pequenas quantidades no lodo, com teores inferiores a 5g.kg<sup>-1</sup>. Sendo K um elemento muito solúvel, é perdido na solução e eliminado com o esgoto durante o processo de tratamento, restando concentrações mínimas no lodo (cerca de 1g.kg<sup>-1</sup>). O cálcio é encontrado em menor quantidade que N e P, porém, através da adição de cal virgem durante o processo de higienização do lodo, o nível do nutriente se eleva consideravelmente. Ou seja, assim como para Mg, os teores de cálcio podem variar em função do tratamento químico a qual são submetidos (FAVARETTO et al., 1997).

A aplicação de doses adequadas do lodo também é capaz de fornecer micronutrientes às plantas, como Fe, Mn, Cu e Zn, sem atingir os níveis de toxidez. Já os micronutrientes como B, Cl e Mo são observados em quantidades reduzidas (PIGOZZO, 2008). O Fe e o Mn, por exemplo, são disponibilizados com a elevação do pH do solo, gerada pela aplicação do lodo, que aumenta a mineralização da matéria orgânica, liberando tais nutrientes. Dessa forma, ao utilizar o lodo como única fonte para atender a demanda de N e P, também é possível suprir a necessidade de micronutrientes da planta (COSTA; COSTA, 2011).

## 2.4 RISCOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM A APLICAÇÃO DE LODO EM PLANTIOS DE EUCALIPTO

Com relação à reciclagem agrícola do lodo, os principais riscos se referem aos aspectos sanitários, a concentração de metais pesados, poluentes orgânicos e o nitrogênio. Tanto os metais quanto os agentes patogênicos tendem a se separar do esgoto e se concentrar no lodo.

Conforme estabelecido pela legislação, existem teores máximos permitidos para estes elementos e organismos no lodo, a fim de garantir a segurança humana e ambiental.

### 2.4.1 Metais pesados

Grande parte dos elementos tóxicos existentes no lodo são originados do esgoto industrial, sendo muitos deles metais pesados. Em geral, encontram-se no lodo os seguintes metais: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Pb, Sn e Zn. Dentre eles, estão presentes elementos essenciais e benéficos que, quando em elevadas concentrações, também podem gerar problemas (GODOI, 2006).

Lopes (2015), ao avaliar as características de alguns metais pesados de lodos provenientes de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização, encontrou teores de Cu em torno de  $200\text{mg.kg}^{-1}$ , o qual pode ter sido adicionado ao lodo por meio de corrosão de tubulações, escoamento superficial e/ou precipitação atmosférica; para Zn, originado de produtos como xampus, protetores solares e desodorantes, os valores ficaram próximos a  $800\text{mg.kg}^{-1}$ ; o Pb, considerado metal preocupante à saúde humana, apresentou teores entre 60 e  $100\text{mg.kg}^{-1}$ ; e para Ni obteve-se a menor concentração, em torno de  $40\text{mg.kg}^{-1}$ . Todos os teores de metais encontrados não ultrapassaram os limites estabelecido pela Resolução do CONAMA 375/2006, na qual constam os seguintes níveis máximos permitidos: Cu  $1500\text{mg.Kg}^{-1}$ , Zn  $2800\text{mg.Kg}^{-1}$ , Pb  $300\text{mg.Kg}^{-1}$  e Ni  $420\text{mg.Kg}^{-1}$ . Tais concentrações podem variar de acordo com a vazão de origem industrial com relação à doméstica; ou seja, quanto maior a proporção de lançamentos de origem industrial, maiores tendem a ser as concentrações de metais pesados (TSUTIYA, 1999).

Estes elementos são removidos do esgoto nas diferentes etapas de tratamento, assim constituindo o lodo (primário, secundário...), e a eficiência com que

são extraídos varia em função de sua solubilidade. O Pb, por exemplo, apresenta baixa solubilidade, por isso é removido com facilidade e integrado ao lodo. Enquanto que o Ni é muito solúvel, o que limita sua presença no lodo (LOPES, 2015).

Os teores de metais transferidos para a planta são influenciados por vários fatores, como: pH do solo, teor de MO, natureza do metal, capacidade do solo em reter cátions, entre outras características, tanto do solo, como da cultura em questão (CHANG et al., 1987; McBRIDE, 1995; RANGEL et al., 2006).

Devido à mobilidade destes elementos ser variável de acordo com a acidez do solo, recomenda-se que o pH seja mantido acima de 5,5 para evitar que os metais pesados fiquem disponíveis no ambiente e sejam absorvidos pelas plantas. O tempo de retenção do lodo no solo também afeta a disponibilidade dos metais; estes são fortemente retidos pelos colóides do solo, reduzindo o risco de contaminação das plantas conforme se aumenta o tempo de contato do lodo com o solo (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

#### 2.4.2 Agentes patogênicos

São encontrados nos esgotos diversos organismos patogênicos, como vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários, helmintos), os quais ficam localizados nas partículas sólidas e, conseqüentemente, concentram-se no lodo de esgoto. Isso ocorre durante as etapas de tratamento do esgoto, pois, devido ao seu maior peso específico e capacidade de adsorção aos flocos, os patógenos são eliminados da fase líquida, sedimentando e assim compondo o lodo (ANDREOLI, 2001).

O número e os tipos destes organismos podem variar também de acordo com a origem dos efluentes. Por exemplo, esgotos oriundos de uma população saudável, provavelmente terão menor ocorrência de patógenos; ou seja, esta contaminação depende, em grande parte, das condições epidemiológicas dos moradores locais (CHAGAS, 2000).

Segundo Scopa et al. (2001) e Krzyzanowski Junior, (2014), alguns dos microrganismos encontrados com mais frequência no lodo são os vírus Rotavírus, Adenovírus, Echovírus e Hepatite A, B e C; as bactérias *Clostridium* spp, *Escherichia coli*, *Lepstopira* spp e *Salmonella* spp; os fungos *Candida* spp, *Cryptococcus neoformans* e *Aspergillus* spp; os protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Entamoeba*

*histolytica*; e os ovos de helmintos *Ascaris lumbricoides*, *Taenia saginata* e *Trichiurus trichiura*.

Estudos apontam que os ovos de helmintos, os cistos de protozoários e as bactérias indicam maior risco à saúde humana e animal, pela frequência de parasitismo, por sua ampla distribuição geográfica e pelo tempo que sobrevivem no meio (ANDREOLI, 2001).

Dentre eles, os helmintos são apontados como os maiores causadores de problemas, sendo muito resistentes aos processos de desinfecção do lodo, pois possuem alta capacidade de sobrevivência às diferentes condições do ambiente. Portanto, os tratamentos utilizados podem não ser totalmente eficientes na remoção destes parasitas (PIANA, 2009). Dessa forma, a prioridade é realizar o controle desses patógenos, para que, assim, automaticamente, reduza-se o nível dos demais, permitindo o uso do lodo sem comprometer seus usuários ou o ambiente.

#### 2.4.3 Impactos no meio ambiente

O manejo inadequado desse resíduo acarreta impactos negativos ao meio ambiente, como a contaminação química e biológica do solo, do ar e da água, interferindo na biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas e, consequentemente, afetando a qualidade de vida humana.

Em aplicações de doses elevadas de lodo ao solo, os metais pesados são capazes de prejudicar as propriedades químicas e biológicas dos solos e provocar toxidez nas plantas e animais. O uso do lodo de esgoto, além de causar acúmulo de metais pesados no solo e nas plantas, pode apresentar risco de contaminação das águas subterrâneas com nitrato, pois quando as quantidades do elemento excedem a capacidade de absorção das plantas, eles podem ser carregados com facilidade até os corpos d'água, favorecendo o processo de eutrofização (PEREIRA; GARCIA, 2017).

A presença de patógenos também oferece sérios riscos, tanto às pessoas que efetuam a sua manipulação, quanto às plantas, pela sobrevivência dos microrganismos após o contato direto da cultura com o biossólido. Em vários estudos, a incorporação do lodo levou ao aumento da incidência de doenças nas culturas, como a podridão do colmo do milho e podridões radiculares em feijão, ervilha e algodão. Os organismos disseminadores destas doenças podem ser transmitidos pelo contato da planta com o lodo, a água ou o solo (ARAÚJO; BETTIOL, 2009).

Os possíveis impactos ambientais e o nível de risco dependerão da origem e do tratamento adotado, bem como das formas e locais de aplicação, pois são os fatores principais no que se refere a alterações na composição do lodo de esgoto e nos seus efeitos no solo.

O uso agrícola ou florestal do lodo não deve ser visto apenas como uma forma de descarte de um resíduo urbano, mas sim como a produção de um insumo de boa qualidade, que traga benefícios à produção agrícola, garantindo a segurança do produtor e a qualidade ambiental das áreas e dos produtos (VON SPERLING, 1996).

## 2.5 TRATAMENTO DO LODO PARA USO COMO FERTILIZANTE

O lodo pode ser submetido a diferentes tipos de tratamento, os quais visam, basicamente, reduzir a umidade, os odores e os agentes patogênicos do material, obtendo, ao final do processo, um material sólido e estável, de fácil manejo e transporte, que não ofereça riscos à saúde e ao meio ambiente (HAANDEL; ALÉM SOBRINHO, 2006).

Geralmente, as etapas de tratamento empregadas são: adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação, onde a importância de cada etapa é definida de acordo com o destino final do lodo. Em casos de incineração, por exemplo, não há preocupação quanto ao grau de estabilização; enquanto que para a aplicação em solos agrícolas, as exigências são maiores, quanto a odores e contaminantes (MALTA, 2001).

O adensamento tem como objetivo diminuir o volume do lodo, reduzindo o consumo de energia e produtos químicos nos processos posteriores. O processo para concentração dos sólidos (adensamento) feito por gravidade é mais indicado para o lodo primário, por ser relativamente mais simples. Para o secundário, considerado de maior dificuldade de adensamento, utiliza-se o método por flotação (DAVID, 2002).

A etapa de estabilização compreende os processos de digestão aeróbia e anaeróbia; compostagem; estabilização química e estabilização térmica; desenvolvidos para mineralizar a fração biodegradável de matéria orgânica do lodo (reduzir sólidos voláteis), diminuindo os riscos de putrefação, os odores e a concentração de organismos patogênicos (LUDUVICE, 2001; PEDROZA et al., 2010).



No que se refere à estabilização química, os métodos se baseiam na adição de produtos químicos que possam eliminar ou reduzir os odores desagradáveis e os microrganismos patogênicos (MÄDER NETTO, 2003; CARVALHO et al., 2017).

A estabilização alcalina, caleação ou calagem, é a mais utilizada e compreende a incorporação de cal virgem ( $\text{CaO}$ ) ou hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  ao resíduo, antes ou após a secagem, em concentração capaz de atingir e manter pH 12 por, no mínimo, 2 horas, assim como determinado na resolução nº375/06 do CONAMA. Com essa elevação de pH é possível obter 99% de redução do número de salmonelas no lodo e até 90% dos ovos de *Taenia saginata*, popularmente conhecida como solitária (GODFREE et al., 1984; MALTA, 2001).

As diferentes proporções de cal influenciam diferentemente na variação do pH e na presença de patógenos no lodo. O uso de concentrações a partir de 30% de  $\text{Ca(OH)}_2$  podem ser considerados eficientes para redução de contaminantes, colocando os teores dentro do permitido pela legislação (CARVALHO et al, 2017).

Na estabilização física, destaca-se o método de secagem térmica, que através de elevadas temperaturas, reduz a umidade pela evaporação e elimina os organismos patogênicos presentes no lodo, sem alterar a matéria orgânica, o que é fundamental para a utilização agrícola do resíduo. Com relação aos outros processos de tratamento do lodo, este apresenta um alto custo operacional, devido ao elevado consumo de combustível para geração do calor, bem como pela necessidade de mão de obra qualificada para manuseio do sistema (DAVID, 2002).

Os processos biológicos (digestão e compostagem) têm como objetivo acelerar as reações que ocorrem espontaneamente na natureza, degradando as substâncias poluentes pela ação de microrganismos, ou seja, propiciando o ambiente para que os microrganismos decompositores utilizem a matéria orgânica (poluição) como alimento.

A estabilização por digestão aeróbia é muito similar à digestão anaeróbia. Em ambos, o lodo com excesso de matéria orgânica é encaminhado ao digestor e o substrato disponível é consumido por completo pelos microrganismos, levando ao crescimento da biomassa bacteriana que, posteriormente, passa a consumir o próprio plasma microbiano, a fim de obter energia para suas reações celulares. Este fenômeno também é conhecido como respiração endógena, ocorrendo de maneira fermentativa em digestores anaeróbios, ou oxidativa em digestores aeróbios. Geralmente, após um período de 15 a 45 dias no digestor, a concentração de matéria

biodegradável se esgota totalmente e o lodo está preparado para seguir para a etapa de desidratação (MALTA, 2001).

Se comparado à digestão anaeróbia, o processo aeróbio apresenta menos problemas operacionais; fácil manipulação, não necessitando aquecimento; e exige menos controle. Porém, é usado apenas em estações de tratamento de pequeno porte, pois necessita de energia para a aeração e não gera produtos rentáveis, além do biossólido. Já o sistema anaeróbio produz o biogás, ou gás natural, composto por aproximadamente 50% de metano e 50% de gás carbônico, considerado excelente fonte de energia limpa e barata (TEIXEIRA; ALEM SOBRINHO, 1981).

No entanto, quando o destino final do lodo é a reciclagem agrícola, a técnica de compostagem é a mais usada. Esta técnica consiste na degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos e enzimas, principalmente, por bactérias, fungos e ascomicetos, levando à fragmentação e oxidação gradual dos resíduos.

A realização do processo ocorre já na fase sólida, onde mistura-se o lodo com resíduos orgânicos (palha, restos vegetais, bagaço de cana, casca de pinus, etc.). Inicialmente, ocorre o rápido crescimento dos microrganismos mesófilos que, com o aumento de temperatura, gerado pela biodegradação, são substituídos pelos microrganismos termófilos, os quais degradam rapidamente a matéria orgânica, elevando ainda mais a temperatura e, conseqüentemente, inativando os organismos patogênicos (BUDZIAK et al., 2004).

Visto que a estabilização e higienização do lodo estão diretamente ligadas à elevação de temperatura; quando a temperatura diminui, indica que a atividade biológica também está diminuindo. É feito então o revolvimento da leira de composto, para misturar os materiais e promover aeração. Se não houver aumento de temperatura novamente, o composto está estabilizado e pronto para o uso (ANDREOLI et al., 1999).

Além da temperatura constante, o composto pronto apresenta cor escura, cheiro similar ao de solo úmido, textura uniforme, macro e micronutrientes prontamente disponíveis para as plantas, boa porosidade e capacidade de retenção de água. Tais características variam de acordo com os diferentes materiais utilizados na mistura (PEDROSA et al., 2013).

Para se obter um composto de boa qualidade, alguns fatores devem ser observados, como: material orgânico picado em pedaços de 0,5 a 4,0 cm, permitindo boa aeração; teores de umidade entre 55 e 65%; relação C/N entre 20 e 30;

temperatura acima de 60°C por um período de no mínimo 10 dias, entre outros aspectos (PEREIRA NETO, 2007).

Enfim, a compostagem pode ser conduzida de várias formas, desde sistemas manuais até sistemas mais complexos para o processamento de grandes quantidades de lodo.

Seja qual for o sistema de estabilização adotado, com exceção da compostagem (processada na fase sólida), na sequência, o lodo segue para o condicionamento, que visa garantir melhores características de separação das fases sólido-líquida do lodo. É realizado através de método físico, o qual é feito por meio de tratamento térmico, onde o lodo é aquecido à uma temperatura entre 175 °C e 230 °C, com o objetivo de reduzir sua capacidade de absorver umidade; ou condicionamento químico (mais usado), através da adição de polímeros orgânicos ou sais de ferro e alumínio, que estabilizam as partículas de lodo, formando flocos de maiores dimensões e facilitando a desidratação do lodo (ALÉM SOBRINHO, 2001; PEDROZA et al., 2010).

A umidade remanescente é então removida pelo processo de desidratação, que pode ser feito por métodos naturais: lagoas e leitos de secagem; ou mecânicos: secagem térmica, centrifugas, filtros-prensa. Os primeiros métodos citados são aplicados em sistemas de pequeno porte, em locais onde o clima proporciona a secagem natural; já a secagem mecânica ocorre em sistema de produção de maior quantidade de lodo, com limitação de espaço (FERNANDES; SILVA, 2008).

A definição das formas de tratamento adotadas nas ETEs depende de fatores técnicos, como disponibilidade de área, facilidade operacional, teor de umidade final desejado; e, também, de fatores econômicos, como custos para implantação, operação e manutenção. Após todo esse tratamento, o lodo poderá ser aplicado na agricultura, silvicultura, recuperação de áreas degradadas, controle de erosão, construção civil, pavimentação, dentre outras, sem causar graves impactos ao meio ambiente e aos seres vivos.

## 2.6 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DO GÊNERO *Eucalyptus*

Devido à grande diversidade de espécies e, portanto, diferentes exigências nutricionais, estabelecer recomendações de adubação específicas para cada espécie se torna um procedimento complexo. Contudo, ao fazer recomendações visando

suprir os nutrientes de espécies mais exigentes pode ser a forma mais adequada de atender as necessidades das demais.

A exigência nutricional e a eficiência como os nutrientes são utilizados pelas diferentes espécies de eucalipto variam em função de diversos fatores, sendo um dos principais, a idade da planta.

Por exemplo, a deficiência de Ca, assim como a de N, ambos necessários para a realização dos processos de divisão celular, é maior no início do ciclo da cultura; e conforme ocorre o avanço na idade da árvore, nota-se diminuição dessas deficiências na planta, porém aumenta deficiência de outros nutrientes, como o fósforo, podendo ocorrer também desequilíbrio de magnésio. A deficiência de K é outra carência comum nos plantios de eucalipto e a sua necessidade aumenta com o acúmulo de biomassa; ou seja, também com o avanço na idade da planta (WADT et al., 1999).

O tipo de material genético é mais um fator que influi nas exigências nutricionais, pois pode variar entre espécies (BARROS et al., 1990), bem como dentro de uma mesma espécie, entre procedências (NOVAIS, et al., 1990), as quais podem apresentar diferenças quanto à produção de biomassa, ou quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização dos nutrientes.

A densidade populacional da floresta também pode interferir tanto nas relações entre os nutrientes e a planta, quanto nas concentrações do nutriente removido do solo. Em plantios mais densos, a exaustão da água do solo é mais rápida, afetando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade. Ainda, em função de menor área útil disponível, o sistema radicular se desenvolverá menos, diminuindo a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas (LEITE et al., 1998).

As maiores respostas à adubação têm sido observadas no campo, na seguinte ordem, para macronutrientes:  $P > N > K > Ca > Mg$ ; e para os micronutrientes,  $B > Zn$  (GONÇALVES, 1995).

O potássio tem sido considerado o nutriente mais limitante ao crescimento do eucalipto em várias regiões, como Itatinga - SP, São Simão - SP, Altinópolis - SP, Mogi-Guaçu - SP e Itamarandiba - MG, e a sua necessidade também aumenta com o acúmulo de biomassa, ou seja, com a idade da planta (BARROS et al. 1990).

O N é um dos exigidos em maior quantidade, principalmente na fase de implantação da floresta, assim como o fósforo; é essencial para o rápido crescimento

radicular do eucalipto (BARROS et al., 1996). Ambos elementos são, portanto, fundamentais nos programas de adubação.

O Mg é requerido em pequenas quantidades pelo eucalipto, porém em alguns casos, como em solos sob Cerrado, este elemento pode se tornar carente, devidos aos baixos teores encontrados. Dessa forma, a adubação com Mg traz resultados satisfatórios, tanto na fase de muda, quanto no restante do ciclo, uma vez que também é exportado em grande quantidade pela exploração florestal (NEVES et al., 1990; NUNES et al., 2013).

Cálcio é o macronutriente exportado em maior quantidade pela parte aérea do eucalipto, principalmente quando não se remove a casca, uma vez que cerca de 50% ou mais do cálcio total está alocado na casca (MORAIS, 1988).

A dinâmica do S no solo é semelhante à do P, pois na forma inorgânica predomina como sulfato, que também é adsorvido por óxidos de Fe e Al. Dessa forma, o S pode limitar o crescimento da planta em solos tropicais de regiões úmidas (BARROS; COMERFORD, 2002). Em plantios de eucalipto na região do Cerrado, por exemplo, os solos normalmente apresentam deficiência de S, e as respostas das plantas à aplicação de enxofre nestas condições de carência podem ser significativas (FURTINI NETO, 1988; NUNES et al., 2013).

Os principais micronutrientes adicionados com a adubação de eucalipto são cobre, zinco e boro. As doses recomendadas são definidas de acordo com os teores dos micronutrientes no solo (SILVEIRA et al. (1998). O Cu influencia na fotossíntese e na transpiração da planta, influenciando também no balanço de nutrientes; o Zn é importante para a regulação de crescimento, síntese de proteínas e proteção contra doenças; e o B exerce papel fundamental na síntese da lignina, na divisão celular, no transporte de açúcares, entre outras funções, sendo que sua carência pode resultar em madeira que apresenta pouca lignificação, ocasionando o enfraquecimento dos ramos, que podem não suportar o peso das folhas (SILVEIRA et al., 2002).

Devido aos programas de melhoramento genético no Brasil, as florestas de eucaliptos têm se mostrado produtivas, mesmo com adubações bem inferiores às utilizadas na agricultura. Mas em muitas regiões, sobretudo em plantações sobre solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, a fertilização é prática necessária para garantir altos níveis de produtividade.

## 2.7 ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE LODO

O uso do lodo de esgoto em solos florestais pode alterar e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em benefícios ao desenvolvimento das plantas cultivadas (TSUTIYA, 2001; CAMPOS; ALVES, 2008).

### 2.7.1 Atributos físicos

A grande quantidade de matéria orgânica presente no lodo é considerada um importante componente estrutural, sendo de grande eficiência para melhorar a qualidade de um solo.

Estudos indicam que a aplicação de lodo de esgoto em solos tropicais melhora o desenvolvimento radicular das plantas, pois aumenta a macro porosidade do solo, diminuindo sua resistência à penetração e a sua densidade; ou seja, o biossólido minimiza a compactação gerada pela circulação intensiva de máquinas usadas em atividades como colheita e baldeio de madeira, por exemplo (MELO et al. (2004).

O aumento da macro porosidade ocorre graças ao rearranjo e agregação das partículas do solo, proporcionado pela adição de matéria orgânica através da incorporação do lodo ao solo. A matéria orgânica e os cátions presentes ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) promovem esta agregação de partículas, aumentando o volume do solo e reduzindo a sua densidade, também possibilitando uma maior aeração e maior capacidade de retenção de água. Com isso, tem-se menor escoamento superficial, e consequentemente, menor susceptibilidade à erosão (MAIA et al., 2018).

Campos e Alves (2008) verificaram a capacidade do lodo em reestruturar um solo degradado, onde as áreas em que o resíduo foi aplicado, apresentaram formação de agregados de maior diâmetro, maior porosidade, infiltração e aeração, melhorando as condições físicas do solo, em geral. Assim como Trannin et al. (2005) também encontraram respostas significativas na produtividade de milho e nos atributos físicos de um Cambissolo distrófico, até mesmo ao aplicar menores doses de lodo ( $6 \text{ t.ha}^{-1}$ ).

Ao alterar essas e outras características do solo, o lodo permite um melhor desenvolvimento radicular das plantas, principalmente, em decorrência do aumento da porosidade do solo, que facilita a penetração das raízes (VEGA et al, 2005).

### 2.7.2 Atributos químicos

As alterações nos atributos químicos do solo podem variar de acordo com as diferentes doses do biossólido aplicadas, com a origem do lodo e com o tipo de tratamento (estabilização) ao qual foi submetido, uma vez que as etapas anteriores à disposição final são capazes de alterar a composição do biossólido.

De maneira geral, o resíduo é uma excelente fonte de nutrientes, corretivo de acidez e ainda capaz de alterar várias outras características químicas do solo, como aumentar a capacidade de troca de cátions, por meio da liberação de hidroxilas e bases (SOUZA et al. 2007).

Diversos trabalhos abordam a eficiência do lodo em fornecer N às plantas, devido à grande concentração deste nutriente no biossólido. Durante a mineralização dos resíduos orgânicos, um dos produtos é o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que pode ser absorvido pelas plantas, retido no solo ou convertido em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o qual também pode ser absorvido pelas plantas, lixiviado ou então convertido a nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ) e perdido para a atmosfera (BOEIRA, 2004).

P e K, são encontrados em níveis baixos no lodo; não são fornecidos ao solo em quantidades suficientes para o crescimento das plantas, se fazendo necessária a complementação com adubação mineral, conforme as exigências da cultura trabalhada. Embora o lodo contribua para o aumento dos teores de P no solo e na planta, também eleva a produção de matéria seca, podendo provocar o efeito de diluição deste nutriente (ARAUJO et al, 2009).

Também é possível notar o incremento nos teores de elementos como B, Cu, Fe, Mn e Zn, com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, contudo sem ultrapassar os limites estabelecidos pela legislação para estes elementos (GONÇALVES, 2011).

A capacidade do lodo de esgoto em fornecer nutrientes às plantas, é comparável ao potencial de fertilizantes minerais convencionais, porém ocorre de maneira extremamente variável, devido à composição diversificada dos lotes de lodo.

Em muitos solos, o lodo aplicado eleva significativamente os teores de matéria orgânica. No entanto, isso depende de aplicações sucessivas do resíduo, visto que o efeito do lodo sobre o carbono orgânico pode ser temporário, devido à degradação da matéria orgânica. O aumento da atividade microbiana, ao adicionar o lodo ao solo,



estimula a decomposição de húmus, diminuindo assim os teores de matéria orgânica (MELO et al., 1994; NASCIMENTO et al., 2014).

Nascimento et al. (2014), ao utilizar lodo caleado, com base nas exigências da cultura e nos teores de N disponível, observou aumento da SB, da V% e da CTC (t) do solo, além de pH acima dos níveis considerados como adequados para o desenvolvimento vegetal. Essa elevação do pH do solo ocorre devido à alcalinidade de materiais como a cal virgem ( $\text{CaO}$ ) e a cal hidratada ( $\text{CaOH}_2$ ), os quais são adicionados no processo de estabilização do lodo. Por esse motivo, é recomendável a utilização do lodo de esgoto caleado como corretivo de acidez do solo, e não como adubo orgânico (FIA et al., 2005).

Com a aplicação de lodos oriundos de outras formas de tratamento (sem a adição de cal), pode ocorrer a diminuição do pH, que pode ser atribuída à presença de substâncias ácidas no resíduo, à nitrificação do N amoniacal, à oxidação de sulfitos, e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do lodo por microrganismos (GODOI, 2006). Portanto, a extensão das alterações no pH depende do tipo de tratamento ao qual o lodo foi submetido, além das características do próprio solo, como textura e capacidade tamponante (OLIVEIRA et al., 2002).

Ao elevar o pH, ocorre a precipitação do alumínio e neutralização do  $\text{H}^+$ , gerando maior exposição das cargas negativas do solo, conseqüentemente, aumentando a CTC. Portanto, em solos com baixa CTC e baixos teores de matéria orgânica, o aumento da retenção de cátions pela carga orgânica fornecida pelo lodo é de extrema importância (OLIVEIRA et al., 2002).

O lodo caleado adicionado ao solo, além de agir como corretivo de acidez, reduzir o teor de alumínio trocável e melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, também proporciona a elevação da soma de bases ( $\text{SB} = \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ ), da CTC efetiva ( $\text{SB} + \text{Al}$ ) e da saturação por bases ( $\text{V\%} = \text{SB}/\text{CTC} \times 100$ ).

### 2.7.3 Atributos biológicos

A biomassa microbiana representa a parte viva da matéria orgânica do solo, sendo composta por bactérias, fungos, entre outros componentes da microfauna, os quais participam das funções do solo, como a ciclagem de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica. Quando em condições adversas, como deficiência de um nutriente ou acidez, a capacidade de utilização do C e do N pela

biomassa microbiana é reduzida; ou seja, suas atividades refletem as alterações no solo, sendo considerado um sensível indicador de qualidade do solo, pois responde mais rapidamente que os demais parâmetros (FERNANDES et al., 2005).

Em geral, os atributos biológicos analisados são: C e N da biomassa microbiana, taxa de respiração (consumo de  $O_2$  ou emissão de  $CO_2$ ), quociente metabólico e quociente microbiano (KASCHUK et al., 2010; PEREIRA, et al., 2015).

Elementos como carbono e nitrogênio são essenciais aos microrganismos, determinando a facilidade e velocidade de decomposição dos materiais. O C na forma de ácidos graxos, aminoácidos e açúcares, é a principal fonte de energia, enquanto o N, como amônia e nitratos, ou N molecular atmosférico, é fonte básica para a reprodução e crescimento celular. Assim, com a aplicação do lodo, os microrganismos do solo utilizam o C e o N como fonte de energia e material orgânico microbiano, promovendo o aumento da biomassa (PICCOLO, 1996; COLODRO, 2005).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) avalia a ação de uso do substrato pelos microrganismos do solo, indicando a eficiência de incorporação de carbono à própria biomassa, onde altos valores de  $qCO_2$  significam estado de estresse, desequilíbrio, enquanto que a diminuição destes valores indica melhoria da qualidade do solo (SILVA et al., 2007)

Pereira et al. (2015), assim como Vieira et al. (2011) encontraram maiores teores de C e N microbiano em solo com adição de lodo de esgoto, em comparação com a adubação mineral. Também observaram que o  $qCO_2$  não se elevou, ou então diminuiu; dessa forma, a adubação com o resíduo não comprometeu a atividade microbiana do solo, sendo considerada viável para solos agrícolas e florestais.

Bueno (2010), ao avaliar a qualidade do solo após adubações com lodo de esgoto e fertilizante mineral, comparando ao solo de mata nativa, verificou que as alterações na qualidade não diferiram estatisticamente quanto a lodo e adubo mineral, onde ambos reduziram a qualidade do solo em torno de 20%.

Por outro lado, a aplicação de altas doses de lodo, por consecutivas vezes, pode alterar significativamente a capacidade metabólica dos solos, sendo imprevisíveis as consequências, a longo prazo, para a fertilidade do solo (FERNANDES et al., 2005).

A atividade microbiana pode ser estimulada com a aplicação do lodo, graças ao fornecimento de carbono e nutrientes, bem como pode ser inibida devido a metais pesados e agentes contaminantes. Essas respostas negativas podem ocorrer de

diversas formas: efeito tóxico direto sobre os microrganismos, distúrbios funcionais, desnaturação proteica e destruição de membranas celulares, modificando as condições físicas e químicas do ambiente e interferindo na capacidade metabólica do solo. Portanto, o comportamento da população microbiana deve ser constantemente acompanhado e irá depender, principalmente, da qualidade (composição) e da quantidade do lodo aplicado ao solo (SKORUPA et al., 2006).

## 2.8 CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO EUCALIPTO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE LODO

Respostas positivas à aplicação do lodo de esgoto em plantios de eucaliptos vêm crescendo ao longo do tempo, onde os retornos econômicos devido a maior produtividade passam a compensar o custo com manejo e transporte do resíduo. Ao liberar lentamente os nutrientes às plantas, o lodo contribui ainda mais para o desenvolvimento de culturas de ciclo longo, como o eucalipto, otimizando a absorção radicular e minimizando a lixiviação de nutrientes (POGGIANI et al., 2000).

De acordo com Hart et al. (1988) e Batista (2015), a disposição final do lodo em plantios de eucalipto, pinus e outras culturas florestais, apresenta várias vantagens com relação aos demais usos, como: o fato de seus produtos normalmente não serem comestíveis, diminuindo os riscos de contaminação pela entrada de poluentes na cadeia alimentar; o máximo aproveitamento dos nutrientes em vista da baixa fertilidades dos solos usados para essas culturas; o aumento da absorção dos nutrientes pelo sistema radicular perene; o acúmulo de biomassa que auxilia na remoção de contaminantes (fito remediação); os intervalos de tempo maiores entre as aplicações devido ao ciclo longo das espécies; e a redução do risco de contato humano com o lodo após a aplicação.

Silva et al. (2008), ao aplicar o lodo diretamente nas linhas de plantio de *Eucalyptus grandis*, a fim de disponibilizar os nutrientes para o desenvolvimento inicial das mudas, constatou que a menor dose aplicada ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), complementada com K e B, foi capaz de suprir a demanda nutricional da cultura, apresentando, após 18 meses do plantio, um aumento no volume de madeira em torno de 130% em comparação à testemunha. O volume de madeira produzida com adição do bio sólido, assim como na adubação mineral, ultrapassou  $30 \text{ m}^3$  por hectare, enquanto que a testemunha não atingiu  $15 \text{ m}^3$ . Proporcionou aceleração no fechamento das copas,

gerando economia com controle de plantas invasoras; e também colaborando para comprovar a viabilidade de substituição da adubação mineral convencional, geralmente adotada em grande parte das empresas florestais.

Guedes (2005) acompanhou durante quatro anos o efeito do lodo de esgoto da ETE de Barueri – SP sobre a ciclagem de nutrientes e o crescimento de *Eucalyptus grandis*, verificando aumento dos teores de nutrientes das plantas e também nas taxas de retorno ao solo, por meio da deposição de folhedos. Os melhores resultados foram encontrados nas árvores que receberam 10 t.ha<sup>-1</sup> de lodo + K e P mineral, aumentando consideravelmente a serapilheira (cerca de 2400kg.ha<sup>-1</sup> a mais do que na adubação convencional) e acelerando a mineralização e liberação dos nutrientes.

De acordo com Lira (2006), o biossólido pode ser capaz de aumentar também o teor de clorofila nas folhas de eucalipto, aumentando assim a fotossíntese líquida e promovendo maior eficiência no uso da água e no desenvolvimento das plantas na fase jovem. Nesse mesmo estudo, a autora observou que a aplicação do lodo em superfície não contribuiu para a fixação de N e C total no solo, sendo o próprio desenvolvimento da árvore responsável pelo fornecimento da maior parte de matéria orgânica ao solo. Porém, o biossólido aumentou o acúmulo de biomassa, bem como o estoque de C e N na parte aérea da planta, principalmente no tronco.

Freier et al. (2006) notaram incremento na altura, no diâmetro do coleto, na área foliar e no número de folhas e biomassa seca aérea de mudas de *Eucalyptus citriodora*, avaliados 203 dias após plantio, onde a aplicação em superfície se mostrou mais eficiente com relação à incorporação do resíduo.

Ferraz e Poggiani (2014) ao estudar a biomassa das raízes finas de *E. grandis* fertilizados com lodo de esgoto encontraram resultados superiores, em torno de 70%, comparativamente às árvores com adubação mineral, o que pode ser explicado pela capacidade do lodo em melhorar as propriedades físicas do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular. Outro fator que pode ter contribuído foi a elevação de pH, ocasionando a precipitação do alumínio, visto que a presença de tal elemento pode paralisar o crescimento das raízes. Também se observou que a adição do biossólido ao solo elevou as concentrações de P, Ca, Zn e Ni nas raízes e reduziu a concentração de Mn, porém não apresentou alterações significativas nos teores dos metais Cd, Cr e Pb em relação aos tratamentos sem adubação.

A dose adequada para aplicação irá depender das particularidades de cada espécie, região, solo, composição do lodo, entre outros fatores, podendo variar de 10

a 60 t.ha<sup>-1</sup>. Segundo Andreoli (2006), a adição de 10t.ha<sup>-1</sup> do biossólido em plantio de *Eucalyptus grandis* foi suficiente para suprir os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. No entanto, quanto menor a dose aplicada, menor será o impacto sobre o solo, principalmente com relação à lixiviação de nutrientes.

Em geral, ao favorecer o crescimento das árvores de eucalipto, consequentemente, o lodo também influencia na qualidade da madeira produzida. O uso do biossólido pode diminuir a densidade básica da madeira, pois o aumento na taxa de crescimento e a ausência de madeira madura ocasiona a diminuição da espessura da parede e da largura da fibra. Isso ocorre sem interferir significativamente nos teores de celulose, lignina, extrativos e poder calorífico da madeira; porém os teores de hemiceluloses e de cinzas podem aumentar, respectivamente, devido à ligeira redução no teor de celulose e ao maior acúmulo de nutrientes promovido pelo lodo. Ainda assim, essas pequenas alterações não distanciam os valores dos considerados normais para o gênero *Eucalyptus*, portanto, são compensadas pelo ganho na produtividade da madeira (BARREIROS et al., 2007).

Vaz e Gonçalves (2002), assim como Bertolazi et al. (2016), notaram semelhanças no desenvolvimento de plantas de eucalipto fertilizadas com biossólido e adubos minerais, concluindo que o uso do lodo permite substituir as adubações nitrogenadas e fosfatadas, além de fornecerem os micronutrientes (com exceção do B).

Embora ainda existam poucas pesquisas da fertilização com lodo de esgoto para as espécies do gênero *Eucalyptus*, os trabalhos aqui citados demonstram o potencial de uso do resíduo para aumentar a produtividade destas plantações florestais.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

São encontrados inúmeros trabalhos sobre a disposição final do lodo de esgoto em solos agrícolas, assim como também existe grande quantidade de textos mencionando a aplicabilidade do resíduo em solos florestais e suas vantagens. Entretanto, no que se refere a trabalhos de campo, que confirmem efetivamente os resultados obtidos, as pesquisas são ainda insuficientes, sendo que a maior parte aborda apenas o desenvolvimento das plantas sob a ação do lodo em fase de muda.

Através dos trabalhos mencionados nesta revisão, foi possível concluir que o biossólido contribui de forma positiva para o desenvolvimento de *Eucalyptus* spp, resultando em aumento do volume de madeira; elevação dos teores de nutrientes das plantas e nas taxas de retorno ao solo; aceleração no processo de mineralização da matéria orgânica; elevação da taxa de fotossíntese; maior acúmulo de C e N no tronco da árvore; aumento da biomassa das raízes finas e diminuição da densidade básica da madeira.

Embora haja uma grande variação nas doses de lodo aplicadas por estes autores, nem mesmo nas doses mais elevadas foram observados efeitos de toxicidade ou prejuízo à produtividade da cultura, demonstrando a eficiência dos processos aos quais os diferentes lotes de lodo foram submetidos, sendo capazes de reduzir as concentrações de patógenos e metais pesados, permanecendo dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

De forma geral, os trabalhos encontrados, quase em sua totalidade, foram desenvolvidos apenas com a espécie de *Eucalyptus grandis*, que apesar de ser amplamente cultivada no Brasil e no mundo, não corresponde às características de desenvolvimento das muitas outras espécies de *Eucalyptus* plantadas atualmente no país, portanto, é de extrema importância que sejam realizadas pesquisas de campo com demais espécies, como: *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. saligna*, *E. urophylla*, entre outras, que também são de grande relevância para o mercado florestal.

## REFERÊNCIAS

- ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 7 – 40
- ANDREOLI, C.V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: Sanepar, Finep, 98p, 1999.
- ANDREOLI, C.V. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Projeto PROSAB, RiMa, ABES, Curitiba – PR, 2001.
- ANDREOLI, C.V. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba: Rio de Janeiro: ABES, 2006. 398 p
- ARAÚJO, F. F.; BETTIOL, W. Efeito de lodo de esgoto sobre patógenos habitantes do solo e severidade de oídio da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.3, p.184-190, 2009.
- ARAÚJO, F.; GIL, F.; TIRITAN, C. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 39, n. 1, p. 1-6, 26 jan. 2009.
- BARREIROS, R.M.; GONÇALVES, J.L.M.; SANSIGOLO, C.A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore** [online], vol.31, n.1, pp.103-111, 2007.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. CSIRO Australia, p.335-355. 1996.
- BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, v.2. p.487-592, 2002.
- BATISTA, L.F. (2015). **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal**: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p, 2015.
- BELLOTE., A.F.J.; NEVES, E.J.M. Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural. **Circular Técnica**, 54, EMBRAPA, Colombo – PR, 2001.



BERTOLAZI, K.B.; AFÁZ, D.C.S.; VIANI, R.A.G.; SOUZA, C.F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v.4, n.1, p.72-78, Araras-SP, 2016.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho. **Fertilizantes**, São Paulo, v.4, n.3, p.9-11, 1982.

BETTIOL, W.; FRANCO, B.J.C.D; CARVALHO, P.C.T. Utilização; do lodo de esgoto como fertilizante para a cultura de arroz (*Oryza sativa*, L . cv. IAC-165). In: Congresso Brasileiro em Iniciação Científica em Ciências Agrárias, 2, 1982, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba, USP, 1982.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.C.D. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, Piracicaba, v75, n1 p.44-54, 1983.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn s talk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, v.30, n.1, p.16-22. 2004.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 2006.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M.M.; MONTE SERRAT, B. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.22, n.6, p 1129-1139, 2017.

BOARETTO, A.E. **Uso de lodo de esgoto como fertilizante**. FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, Botucatu, p.185, 1986.

BOEIRA, R.C. Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. Embrapa Meio Ambiente. **Comunicado Técnico**, 12. Jaguariúna, 2004.

BONNIN, C. Travaux du CEN/TC 308: **Présentation des guides de bonne pratique pour la production et l'utilisation des boues**. Paris, 1998.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1998**. Brasília.1998.

BRASIL, Decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de janeiro de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, 09 de junho de 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa SDA nº 24, de 20 de junho de 2007**. Reconhecer os métodos analíticos constantes do anexo desta Instrução Normativa, conforme o art. 71 do anexo do Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. **Diário Oficial da União**, 21 de junho de 2007.

BRASIL, Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as Normas sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à Agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, 28 de julho de 2009.

BRASIL, Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013. Estabelece, na forma desta Instrução Normativa, as disposições e critérios para: I - as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 23 de outubro de 2013.

BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. B. F.; MANGRICH, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Quim. Nova**, São Paulo, vol. 27, n.3, p. 399-403, 2004.

BUENO, J.R.P. **Qualidade do solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto para o cultivo do milho**. Dissertação (Mestrado), Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1389-1397, 2008.

CARVALHO. P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v.3, n.2, p.1-4, 1981.

CARVALHO, F.J.P.C. **Efeitos do lodo de esgoto na cultura do milho**. Monografia de Graduação. Universidade Estadual Paulista – Unesp, Jaboticabal, 1983.

CARVALHO, L. C. C. S.; SANTOS, F. S.; MARTINS, C. A. C.; AMARAL, I. A.; COSIELLO, I. R. Estabilização alcalina como processo de higienização do lodo de esgoto para fins agrícolas. In: 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2017, Poços de Caldas. **Anais 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente - Poços de Caldas**, v.9, 2017.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Norma P.4.230: Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação. **Manual Técnico**. São Paulo, agosto, 1999.

CHAGAS, W.F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgoto da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

CHANG, A.C.; HYUN, H. & PAGE, A.L. **Cadmium uptake for Swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: Plateau or time bomb?** J. Environ. Qual., 26:11- 19, 1997.

COELATO, L.C. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo**. Dissertação (Mestrado), Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2005.

CORREIA, J.E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo na estação de tratamento de esgoto contorno Feira de Santana, BA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. (Org.). **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C. de; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELHO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.3, 2014.

DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FARIA, L.C.; RODRIGUEZ, L.C.E. Demanda potencial por lodo de esgoto (biossólido) em plantios de eucaliptos no entorno da região metropolitana de São Paulo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Periódicos Semestral Ano VII, Número 12 – Agosto de 2008.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Uso de resíduos orgânicos na produção de mudas de Senna alata (L.) Roxb. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.1, n.3, p.133-146, 2013.

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C; DAROS, E.; PISSAIA, A. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho (*Zea mays* L.). **Arquivo de Biologia e Tecnologia**, v.40, n.4, p.836-847.1997.

FERNANDES, F; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. 1ªed, Rio de Janeiro, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental, 2000.

FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C.C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. **Applied Soil Ecology**. v. 30, n. 1, p. 65-77, 2005.

FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C.C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil atmosphere interface, on soil and total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**. v. 125. p. 49-57, 2005.

FERNANDES, F; SILVA, S. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico PROSAB. Londrina: Universidade Estadual de Londrina – UEL, 2008.

FERRAZ, A.V.; POGGIANI, F. Biomassa, nutrientes e metais pesados em raízes de eucaliptos adubados com diferentes lodos de esgoto. **Revista Cerne**, Lavras, v.20, n.2, p.311-320, 2014.

FERREIRA, A. C; ANDREOLI, C. V. Destino final do lodo. In: **Uso e manejo do lodo na agricultura**. Curitiba: SANEPAR/ PROSAB, 1999. 18p.

FIA, R.; MATOS, A. T.; AGUIRRE, C. I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caído. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 4, p. 287-299, out/dez. 2005.

FREDDO, Alessandra. **Caracterização físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região oeste do Paraná**. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

FREIER, M; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 2, p. 102-107, 2006.

FURTINI NETO, A.E. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto**. 95p. (Tese de Mestrado), Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988.

GODFREE, A.F., JONES, F., SATCHWELL, M. e WATSON, D.C. The effectiveness of chemical disinfection on faecal bacteria in sludge. In: Bruce A. (ed), **Sewage sludge stabilization and disinfection**, Chichester U.K.: 1984. P. 412-425;

GODOI, E.L. **Uso agrônômico de lodo de esgoto na recuperação de área degradada**: efeito residual. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica on-line-Tecnologia - Gestão – Humanismo**. Faculdade de Tecnologia de Guaratinguetá, v.2, n.1, novembro, 2013.

GOMES, R. G.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v.19 n.1, 2013.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, **Documentos Florestais**, Piracicaba (15): 1 –23, 1995.

GONÇALVES, I.C.R. **Atributos químicos e biológicos do solo e produtividade de feijão-caupi após dois anos de aplicação de lodo de curtume compostado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí Teresina, 2011.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 154p. Tese (Doutorado) Silvicultura e Manejo Florestal. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

HAANDEL, A.; ALÉM SOBRINHO, P. Produção e constituição do lodo de esgoto. In: Andreoli, C. V (ed). **Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento – Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

HART, J.B.; NGUYEN, P.V.; URIE, D.H.; BROCHKWAY, D.G. “Silvicultural use of wastewater sludge”. In: **Jornal of Forestry**, 17, p.17-24, 1988.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.M.; HARRISON, RB. The use of municipal and pulp paper sludge to increase production in forestry. **Journal of Sustainable Forestry**, v.1, n.3, p.41-45, 1993.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian Biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1, p. 467-481, 2010.

KRZYZANOWSKI JUNIOR, F. **Avaliação de risco de infecção por *Salmonella* spp. associado ao uso agrícola de lodo de esgoto**: risco de consumo de hortaliças e ao trabalhador. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; FABRES, A.S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. Seção IV - Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:419-426, 1998.

LEONARD, P. & MCKINNEY, B. Biosolids application to forests – Implementation and operations. In: **The forest alternative principles and practice of residuals use**. International Symposium in University of Washington Campus. Seattle, 1997. Proceedings, Seattle, 1997.

LIRA, A.C.S. **Lodo de esgoto em plantações de eucalipto: carbono, nitrogênio e aspectos da fotossíntese**. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 2006.

LOPES, T.R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbico e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2015.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 484p

MADER NETTO, O. S.; ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C.; TAMANINI, C.R.; FRANÇA, M. Estudo das variações de pH no lodo caleado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 6p. Joinville, 2003.

MAIA, F.C.V.; LIMA, S.O.; BENICIO, L.P.F.; FREITAS, G.A.; FURLAN, J.C. Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Pesquisas Agrárias e Ambientais Nativa**, Sinop, v. 6, n. 4, p. 345-351, jul./ago. 2018.

MALTA, T.S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ**. (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2001. 68 p

McBRIDE, M.B. **Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective?** J. Environ. Qual., 24:5-18, 1995.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. & CHELLI, R.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. (Ed.). **Impacto ambiental do uso de lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, p. 109-141, 2000.



MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com bio sólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72, 2004.

MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 56p. (Tese de Mestrado). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1988.

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.A.; ZUBA JUNIO, G.R.; FERNANDES, L.A.; CRUZ, S.F.; CARNEIRO, J.P.; BARBOSA, C.F.; LIMA, N.N. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 146-153, Jan/Fev, 2014.

NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. & NOVAIS, R.F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, p.99-126, 1990.

NÓBREGA, R. S. A. et al. Utilização de bio sólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebynthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.239-246, 2007.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, p.25-98.1990.

NUNES, E.N.; FERNANDES, Y.T.D.; MONTENEGRO, I.N.A.; ALVES, C.A.B.; SOUTO, J.S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL)**, v. 8, n. 5, p. 90 - 95, (Edição Especial) dezembro, 2013.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 505- 519, 2002.

PARANÁ. (2009) Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema nº 021, de 30 de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2009.

PAREDES FILHO, M.V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agroambiental**. v.3, p.73-80, Dez, 2011.

PEDROSA, T. D. et al. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, Sinop, v. 01, n. 01, p. 44-48, 2013.



PEDROZA, J.P. **Biossólidos em algodoeiro herbáceo**: modificações crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. Tese (Doutorado) Recursos Naturais, Área de Concentração: Recursos Hídricos. Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2002.

PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA, J.F.; PICKLER, A.C.; LEAL, E.R.M.; MILHOMEN, C.C. Produção e tratamento de lodo de esgoto: Uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.11, n.16, p.89-XX, jul/dez, 2010.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PEREIRA, N.G.F.; FRAZÃO L.A.; OLIVEIRA, A.L.G.; CARDOSO, P.H.S.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos nos atributos químicos e microbiológicos de um Cambissolo Háplico. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 115-127, jan./ago. 2015.

PEREIRA, A.C.A.; GARCIA, M.L. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.22, n.3, 531-538, 2017.

PIANA, M.G. **Higienização de lodo de estações de tratamento de esgoto por compostagem termofílica**. Trabalho de conclusão de curso: Agronomia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

PICCOLO, A. Humus substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: **Elsevier Science**. 1996.

PIGOZZO, A.T.J et al. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Sci. Agron**. Maringá, v. 30, n. 4, p. 569-579, 2008.

PINHEIRO, C.H.R. **Zn, Ni, Cr, Cu, Fe e S em lodo de esgoto, comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento**. Tese (Doutorado) Geoquímica e Geotectônica. IGc – USP, São Paulo, 2007.

PIRES, A.M.M. **Uso agrícola do lodo de esgoto**: aspectos legais. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2006.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucalipto. **Silvicultura**, v.80, p.48-53, 1999.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.163-178, 2000.

RANGEL, E.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J.F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:583-594, 2006

SAITO, M.L. **O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Embrapa Meio Ambiente, Documentos: 64, 35p, Jaguariúna, 2007.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, n. 193, p. 16-27, 2014.

SANEPAR, COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual Técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. 96 p. Curitiba. Sanepar, 1997.

SANTOS, H.F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgotos em solos agrícolas. **Revista DAE**, v.32, p.31-40, 1979.

SANTOS, E.R. **Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação mangueira, Pernambuco, Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

SCOPA, S.D.; KERJE, S.; KROVACEK, K.; **The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge**. J Air Wast Manag Assoc., 51: 848-860, 2001.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Comunicado Técnico 99, Recomendações Técnicas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Universidade Federal de Viçosa, vol. 32, núm. 5, p. 845-854, 2008.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; POMPERMAYER, P. N. Monitoramento nutricional na siderúrgica. **Relatório de pesquisa e assessoria**. Barra Mansa, 92p., 1998.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; PAULA, T.A. BOUCHARDET, J.A.; VALLE, C.F.; BONINE, C.A.V. Exigência nutricional de clones de *Eucalyptus* em relação a boro. **Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, Luís Antonio, 26p. 2002

SIQUEIRA, D.P.; CARVALHO, G.C.M.W.; BARROSO, D.G.; MARCIANO, C.R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 277-284, abr/jun. 2018.

SKORUPA, L.A; et al. Uso do Lodo de esgoto na Recuperação de Áreas Degradadas in ANDREOLI, C.V. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**, Curitiba/PR, p. 189- 234, 2006.

SOARES, H.K.L; SILVA, J.C.M.; MARINHO, R.S.A.; FURTADO, G.D. Lodo de esgoto como alternativa para a agricultura, uma questão de educação ambiental e viabilidade técnica. **Educação ambiental em ação**. Número 61, Ano XVI, 2017.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F., et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-274, 2007.

TEIXEIRA, S.M.V. ALEM SOBRINHO, P. Digestão aeróbia de lodo de esgoto doméstico. **Revista DAE**, Edição nº125, 1981.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Avaliação agronômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:261-269, 2005.

TSUTIYA, M.T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. Rio de Janeiro, ABES, 1999.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólido. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, 2001. p.133-180.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 26, núm. 3, p. 747-758, 2002.

VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; GODOY JUNIOR, G.; BERTON, R.S. Lodo de esgoto e sistema radicular da pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 259-268, 2005.

VIEIRA, G.D.A.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35: 543-550, 2011.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados**. Minas Gerais, ABES, 1997.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; DIAS, L.E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1797-1803, out. 1999.

ZEITOUNI, R.F. **Análise Crítica da Norma CETESB P 4.230 – “Aplicação de Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios Para Projeto e Operação”**. Dissertação (Mestrado) Gestão dos Recursos Agroambientais – Instituto Agronômico de Campinas, 2005.